

ANALISIS TEGANGAN LEBIH TRANSIEN IMPULS PERSEGI PADA UJUNG SALURAN TRANSMISI SECARA EKSPERIMENTAL

Roby Permana^{1*)}, Ir. Danial, MT²⁾, Managam Rajagukguk, ST, MT³⁾

¹⁾Mahasiswa dan ^{2,3)}Dosen Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

*Email: roby.permana31@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam Skripsi ini telah dilakukan analisis tegangan lebih transien impuls persegi pada ujung saluran transmisi akibat pengaruh beban R , L , dan C secara eksperimental.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa, untuk beban bersifat induktif dan kapasitif, tegangan pada ujung saluran transmisi dapat mencapai dua kali besar tegangan gelombang datang. Besar L dan C hanya berpengaruh kepada waktu kenaikan gelombang. Untuk beban bersifat resistif, besar R berpengaruh terhadap tegangan pada ujung saluran. Jika beban R lebih besar daripada impedansi surja ($R > Z$) maka tegangan lebih pada ujung saluran lebih besar dari besar tegangan gelombang datang. Jika beban resistif lebih kecil atau sama dengan impedansi surja ($R \leq Z$) tegangan pada ujung saluran tidak akan lebih besar dari tegangan gelombang datang.

Kata kunci : Eksperimental, Gelombang Berjalan Kawat Transmisi, Tegangan Lebih Transien.

ABSTRACT

In this skripsi has been carried out analysis of transient overvoltage square impulse at the end of the transmission line due to the influence of the load R , L , and C experimentally.

Research results show that, for inductive and capacitive loads, the voltage at the end of the transmission line can reach twice the coming big wave voltage. Large L and C only affect the wave rise time. For resistive load, large R affect the voltage at the end of the line. If the load R is larger than the surge impedance ($R > Z$) then over at the end of the line voltage is greater than the voltage big wave coming. If the resistive load less than or equal to the surge impedance ($R \leq Z$) voltage at the ends of the channel will not be greater than the voltage of the incoming wave.

Keywords: Experimentally, Traveling Wave Wire Transmission, Transient Overvoltage.

1. Pendahuluan

Tegangan lebih transien (*transient overvoltage*) yang terjadi pada suatu sistem tenaga dapat disebabkan oleh faktor eksternal misalnya petir atau oleh faktor internal, misalnya pada proses alih hubung (*switching*). Transien pada sistem transmisi disebabkan oleh perubahan yang mendadak pada konfigurasi sistem dalam kondisi kerja. Petir dapat menimbulkan ancaman bahaya kerusakan pada peralatan-peralatan sistem tenaga, demikian pula proses alih hubung yang dapat mengakibatkan gelombang berjalan pada kawat transmisi (Yanuar, 1998).

Masa transien menjadi sangat penting dalam sistem karena pada masa tersebut suatu perubahan mendadak akan termanifestasikan baik dalam bentuk arus maupun tegangan yang kadangkala dalam hal ekstrim akan mengakibatkan kerusakan fatal pada

sistem seperti mengganggu kinerja mesin, memutuskan hubungan listrik, mengganggu / menggagalkan sistem komunikasi.

Semua fenomena transien dalam sistem listrik mekanis dapat dinyatakan oleh 3 jenis elemen rangkaian listrik berupa resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Ketiga jenis elemen listrik yaitu resistor, induktor, dan kapasitor dapat mengeluarkan energi alam dalam jumlah terbatas, misalnya resistor hanya mampu mendisipasi energi listrik dalam bentuk panas I^2R , sedangkan induktor dan kapasitor mampu menyimpan masing-masing energi magnetik $(1/2)LI^2$ dan energi listrik $(1/2)CV^2$ (Greenwood, 1991:1-2).

Dalam penelitian ini ditekankan pada efek beban R , L dan C serta berapa besar tegangan lebih transien impuls persegi pada ujung saluran transmisi secara eksperimental.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Tegangan Lebih

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang terbatas (Reynaldo Zorro, 1987). Oleh karena itu, dalam pengoperasian sistem tenaga listrik perlu perhatian khusus pada sistem proteksi terhadap tegangan lebih (Arismunandar, 1990).

Ditinjau dari bentuknya ada dua jenis tegangan lebih, yaitu :

1. Tegangan lebih periodik
2. Tegangan lebih aperiodik

Berdasarkan sebabnya ada dua jenis penyebab, yaitu :

1. Sebab luar (*external over voltage*)
2. Sebab dalam (*internal over voltage*)

Tegangan lebih berdasarkan sumbernya menurut IEC, ditimbulkan oleh :

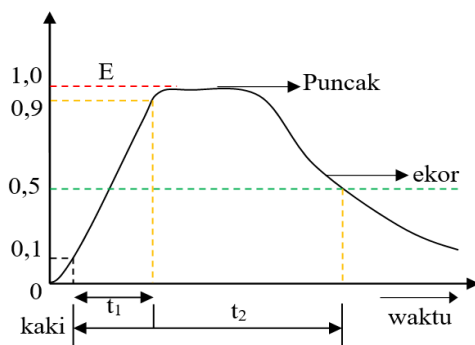
1. Tegangan lebih petir (*lightning over voltage*) pada peralatan listrik baik sambaran langsung, tidak langsung, maupun secara induksi.
2. Tegangan lebih sementara (*temporary over voltage*) yang disebabkan oleh sistem
3. Tegangan lebih surja hubung (*switching over voltage*) baik akibat operasi penutupan maupun operasi pembukaan.

2.2 Gelombang Berjalan

Dilihat dari sudut energi, dapat dikatakan bahwa surja pada kawat disebabkan oleh penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat. Energi ini merambat pada kawat, sama halnya apabila kita melemparkan batu pada air yang tenang dalam sebuah kolam. Energi yang merambat ini terdiri dari arus dan tegangan (T.S Hutahuruk, 1991). Hal ini disebabkan adanya induktansi dan kapasitansi pada sistem tanpa rugi – rugi (*loss less line*).

Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta – konstanta kawat. Pada kawat di udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 m/ μ s jadi sama dengan kecepatan cahaya dan pada kabel tanah kira-kira 150 m/ μ s. Apabila gelombang mencapai titik peralihan atau diskontinuitas akan terjadi perubahan pada gelombang tersebut sehingga terdapat sedikit perbedaan dengan gelombang asal.

Bentuk dan spesifikasi gelombang berjalan digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Bentuk dan Spesifikasi Gelombang Berjalan

Spesifikasi dari gelombang berjalan adalah:

- a. Puncak gelombang, E (kV), yaitu amplitudo maksimum dari gelombang.
 - b. Muka Gelombang, t_1 (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai puncak. Dalam hal ini diambil dari 10% E sampai 90% E , yang di tampilkan di gambar II.1.
 - c. Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak. Panjang gelombang, t_2 (mikrodetik), yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50% E pada ekor gelombang.
 - d. Polaritas, yaitu polaritas dari gelombang, positif atau negatif.
- Suatu gelombang berjalan (surja) dinyatakan sebagai: $E = t_1 / t_2$

Jadi suatu gelombang dengan polaritas positif, puncak 1000kV, muka 3 mikrodetik, dan panjang 21 mikrodetik dinyatakan sebagai: +1000, 3 x 21 μ s. Gelombang ini akan mencapai ujung yang lain dari hantaran dalam waktu tertentu.

Dalam perambatan gelombang ini umumnya akan menemukan diskontinuitas dalam hantaran sehingga terjadi pemantulan gelombang. Umumnya pada setiap saat, tegangan dan arus pada setiap titik merupakan superposisi dari gelombang datang dan gelombang pantul. Gelombang berjalan ini timbul dalam sistem transmisi sebagai akibat adanya tegangan lebih pada sistem yang disebabkan oleh proses sambaran petir atau proses pembukaan dan penutupan saklar daya (*switching*).

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan untuk perancangan desain meliputi :

- Pembangkit Pulsa : 10 V
- Kabel Coaxial : $l_a = 1 \text{ m}$
- Kabel Coaxial : $l_b = 40 \text{ m}$
- Kabel Coaxial : $l_c = 20 \text{ m}$
- Resistor : 50 Ω (2 buah)
- Beban Kapasitif : 1 nF parallel R=3,3 k Ω
- Beban Induktif : 2,2 μ H
- Saklar ON/OFF
- BNC Cabang
- Oscilloscope Tektronik TDS 220 dan Printer (tersedia dalam kit)

3.2 Desain Pembuatan Alat

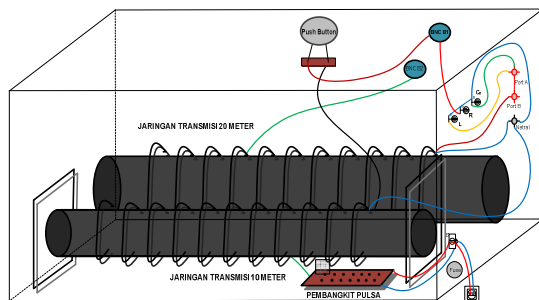
Pembangkit pulsa persegi adalah simulasi transien gelombang berjalan di sepanjang saluran transmisi yang diaplikasikan kedalam bentuk tegangan DC kawat tunggal (kabel coaxial) dalam satu box dan diukur dengan Oscilloscope pada port chanel yang telah disediakan dalam rangkaian.

Data yang dihasilkan dapat dianalisis untuk mengetahui akibat pengaruh beban di ujung saluran transmisi pada saat transien.

3.3 Metode Perhitungan

Metode perhitungan untuk perancangan alat pembangkit pulsa yang menghasilkan gelombang berjalan dengan pengaruh beban R , L dan C_R pada ujung saluran transmisi sangat diperlukan dalam mendesain alat yang akan dirancang dimana metode perhitungan ini terdiri dari:

- Penentuan panjang gelombang dari pembangkit pulsa
- Variasi panjang jaringan transmisi



Gambar 3.1 Desain perancangan alat pembangkit pulsa yang terhubung dengan kawat transmisi



Gambar 3.2 Hasil perancangan alat pembangkit pulsa yang terhubung dengan kawat transmisi dan beban (tampak depan)



Gambar 3.3 Hasil perancangan alat pembangkit pulsa yang terhubung dengan kawat dan saklar beban (tampak samping)

3.5 Refleksi Pada Hantaran Transmisi dengan Terminasi Resistansi R

Pengukuran gelombang berjalan akibat efek terminasi resistansi di ujung saluran transmisi

mengikuti tahapan berikut, gelombang diukur pada resistor R_2 :

- Menghitung refleksi dan koefisien transmisi dengan formulasi dibawah ini:

$$\text{Koefisien Refleksi : } r_u = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\text{Koefisien Transmisi : } b_u = \frac{2 Z_2}{Z_2 + Z_1} \dots\dots\dots (3.2)$$

- Menggambarkan bentuk gelombang berjalan (semua resistansi gelombang: $Z=50\Omega$) menggunakan perambatan gelombang grafik, dan menghitung tegangan lebih di ujung saluran transmisi.
- Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari pengukuran *oscilloscope*.

3.6 Refleksi Pada Hantaran Transmisi Dengan Terminasi Induktansi L

Pada pengukuran refleksi dengan pemutusan induktansi hanya dengan mengganti kapasitor di ujung saluran transmisi dengan induktor. Gelombang yang dipantulkan akan berubah secara eksponensial.

Langkah pengukuran gelombang berjalan untuk induktansi adalah sebagai berikut :

- Menghitung konstanta waktu τ dari pengukuran dan menghitung tegangan induktansi dengan formulasi di bawah ini.

$$U = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^t i dt = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^L I_0 e^{-Rt/L} dt \dots\dots\dots (3.3)$$

$$U = \frac{I_0}{L} \cdot \left(-\frac{L}{R}\right) e^{-\frac{Rt}{L}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$u(t) = 2U_0 \cdot e^{-(t/\tau)} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\tau = \frac{L}{Z} \dots\dots\dots (3.7)$$

- Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari pengukuran *oscilloscope*.

3.7 Refleksi Pada Hantaran Transmisi Dengan Terminasi Kapasitor C_R

Langkah pengukuran gelombang berjalan untuk kapasitansi mengikuti tahapan berikut ini

- Menghitung konstanta waktu τ dari pengukuran dan menghitung tegangan kapasitansi dengan formulasi unit step $U(t)$ sebagai berikut :

$$u(t) = 2U_0 \cdot (1 - \exp^{-(t/\tau)}) \dots\dots\dots (3.8)$$

$$Z\tau = \frac{Z \cdot R}{Z + R} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\tau = Z_f \cdot C \dots\dots\dots (3.10)$$

- Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari pengukuran *oscilloscope*.

3.8 Analisis Hasil

Analisis yang dilakukan adalah dengan mengetahui bentuk karakteristik gelombang berjalan dari pengaruh beban R , beban L , dan C_R yang berada di ujung saluran transmisi dari eksperimen yang dilakukan dan kemudian dibuktikan dengan perhitungan dan grafik simulasi yang dilakukan pada tahap eksperimen yaitu refleksi akibat tegangan lebih dan harga gelombang tegangan lebih yang sampai di ujung saluran transmisi serta fungsi pembacaan karakteristik gelombang tegangan untuk diaplikasikan di saluran udara transmisi tegangan tinggi.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Lebar Pulsa Gelombang dan Variasi Panjang Jaringan Transmisi

Waktu yang diinginkan dalam perambatan dari gelombang berjalan dengan muka gelombang $T_i = 50ns$, maka lebar pulsa gelombang persegi $2 \times T_i = 2 \times 50 = 100ns$, karena panjang jaringan transmisi di generator pulsa sangat diperlukan dalam perancangan alat, maka untuk mendapatkan panjang jaringan tersebut diperlukan langkah perhitungan sebagai berikut :

- a. Kecepatan rambat gelombang di kabel *coaxial*

$$v = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$$

Dimana Induktansi dan Kapasitansi jaringan transmisi yang diberikan dalam perhitungan ini adalah: $C' = 101pF/m$ dan $Z = 50\Omega$. karena impedansi surja (Z) dan kapasitansi jaringan (C') sudah diketahui, maka harga dari induktansi jaringan (L') pada kabel adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L' &= Z^2 \cdot C' \\ &= 50^2 \cdot (101 \times 10^{-12}) = 2,525 \times 10^{-7} \\ &= 0,252 \mu H/m \end{aligned}$$

Jadi, kecepatan rambat gelombang di saluran transmisi :

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{(101 \times 10^{-12}) \cdot (0,252 \times 10^{-6})}} \\ &= \sqrt{\frac{10^{18}}{101 \times 0,252}} = 1,98 \times 10^8 m/s \end{aligned}$$

- b. Setelah mendapatkan kecepatan merambat gelombang di saluran transmisi (kabel) maka panjang jaringan transmisi l_i di generator pulsa $l_i = v \cdot T_i$
- $$\begin{aligned} &= (1,98 \times 10^8 m/s) \times (50ns) \\ &= (1,98 \times 10^8) \times (50 \times 10^{-9}) = 9,9 m \end{aligned}$$

- c. Kemudian penyelesaian untuk mendapatkan panjang kabel transmisi l_b

$$\begin{aligned} \text{Waktu perambatan gelombang berjalan : } t &= T_i + T_b \\ &= 50ns + 200ns = 250 ns \end{aligned}$$

dimana : T_i adalah muka gelombang (ns)

T_b adalah ekor gelombang (ns)

Jadi panjang kabel transmisi

$$\begin{aligned} l_b &= [v \cdot (T_i + T_b)] - l_i \\ &= [(1,98 \times 10^8 m/s) \cdot (50ns + 200ns)] - 9,9m \\ &= [(1,98 \times 10^8) \cdot (250 \times 10^{-9})] - 9,9 \\ &= 39,6 m \end{aligned}$$

atau lebih tepatnya, lebar pulsa sama dengan lima kali lebih luas panjang jaringan l_i :

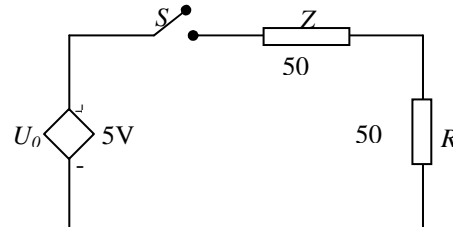
\Rightarrow Panjang kabel transmisi lima kali lebih besar, sehingga $l_x = 5 \cdot l_i = 5 \times 9,9 = 49,5 m$

\Rightarrow Panjang kabel transmisi: $l_b = l_x - l_i$

$$= 49,5 - 9,9 = 39,6 m$$

4.2 Pengukuran Panjang Kabel Pada Generator Pulsa

Langkah awal pada pengukuran panjang kabel di generator pulsa ini adalah dengan memeriksa magnitude tegangan dari generator pulsa yaitu 5 V dan $Z_2 = 50\Omega$. Berikut gambar diagram ekivalen untuk mengetahui konstanta dari rangkaian generator pulsa :



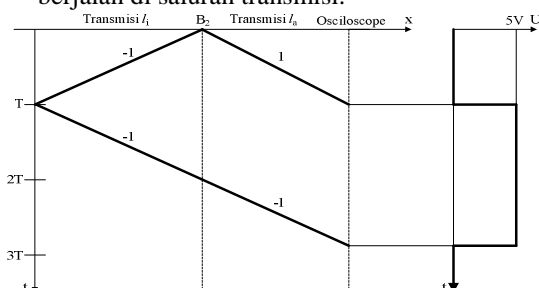
Gambar 4.1 Diagram ekivalen dari generator pulsa yang terhubung dengan beban R_1

Langkah-langkah perhitungan untuk pengukuran panjang kabel :

- Menghitung waktu gelombang berjalan pada kabel generator pulsa $l_i (Z = 50\Omega, C' = 101pF/m)$ karena diperlukan $x (m)$ untuk mendapatkan waktu gelombang berjalan di generator pulsa. Waktu berjalan pada kabel di generator pulsa :

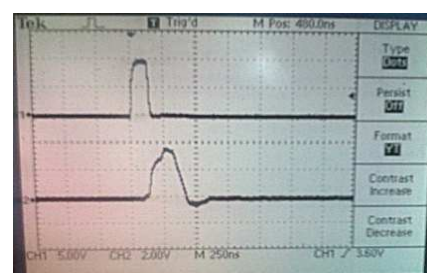
$$\begin{aligned} t &= \frac{x}{v} \\ &= \frac{9,9}{1,98 \times 10^8} = 5 \times 10^{-8} \\ &= 50 \times 10^{-9} = 50 ns \end{aligned}$$

- Menggambar grafik gelombang keluaran dengan propagasi gelombang menurut *latice bewley* untuk mengetahui panjang gelombang berjalan di saluran transmisi.



Gambar 4.2 Grafik perambatan gelombang dari generator pulsa pada pengukuran panjang kabel di generator pulsa

Gambar hasil pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope* :



Gambar 4.3 Karakteristik signal R pada saat pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope*

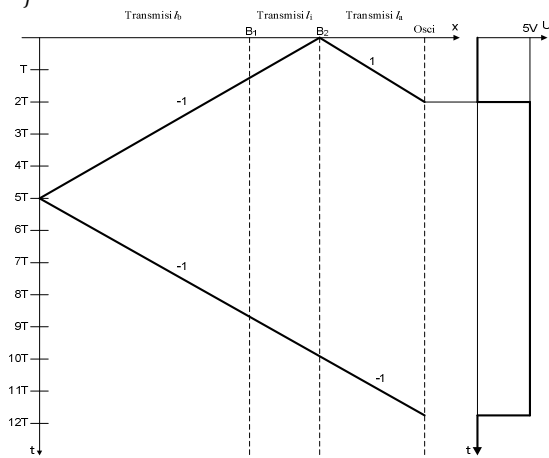
4.3 Pengukuran Panjang Gelombang Dari Penambahan Panjang Kabel Saluran Transmisi

Kabel (saluran transmisi) dalam generator pulsa dapat diperpanjang dengan menggunakan kabel eksternal l_b . Kabel eksternal ini harus dihubungkan ke port B1 untuk menerima gelombang pulsa persegi kemudian gelombang diukur pada resistor $R_1=Z_1$. Waktu perambatan gelombang berjalan di generator pulsa dapat diselesaikan sebagai berikut :

$$t = \frac{x}{v} = \frac{l_i + l_b}{v} = \frac{9,9 + 40}{1,98 \times 10^8} = 252 \times 10^{-9} = 252 \text{ ns}$$

Panjang gelombang berjalan yang merambat di jaringan transmisi adalah :

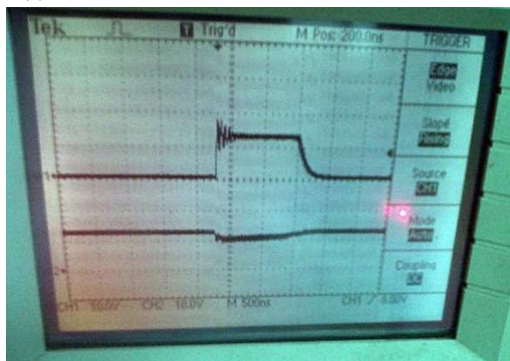
$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot t = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 252 \times 10^{-9} \text{ s} = 75,6 \text{ m}$$



Gambar 4.4 Grafik perambatan gelombang dari generator pulsa pada pengukuran dari penambahan panjang kabel transmisi

Dari hasil perambatan grafik propagasi gelombang tegangan dapat diketahui perbedaan antara pengukuran panjang kabel dengan pengukuran dari penambahan kabel transmisi l_b di port B1.

Data propagasi gelombang tegangan dari hasil perhitungan dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope* berikut ini



Gambar 4.5 Karakteristik signal R pada saat pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope*

Hasil pengukuran dengan *oscilloscope* dapat diketahui karakteristik gelombang keluaran yang sama dengan hasil perhitungan dengan menggunakan grafik propagasi *Lattice Bewley*, sehingga dapat dilakukan langkah-langkah eksperimen pada tahapan berikutnya dengan efek terminasi (beban ujung) di saluran transmisi.

4.4 Refleksi Pada Hantaran Transmisi dengan Terminasi Resistansi

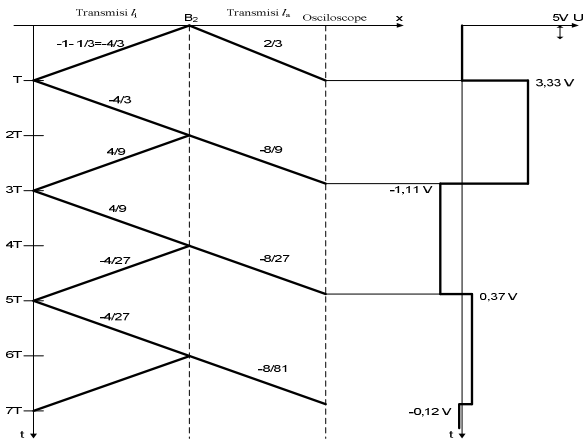
- a. Menghitung refleksi dan koefisien transmisi dengan formulasi dibawah ini:

$$\text{Impedansi total: } Z = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 25$$

$$\text{Koefisien Refleksi: } r_u = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} = \frac{25 - 50}{25 + 50} = -\frac{1}{3}$$

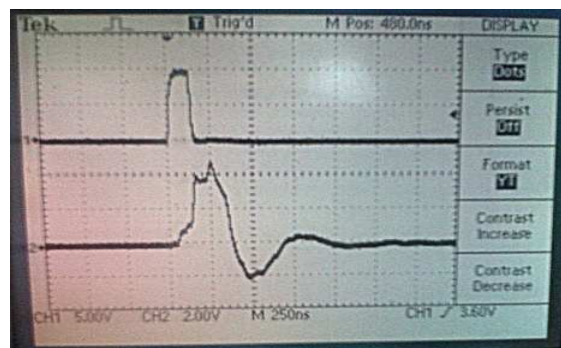
$$\text{Koefisien Transmisi: } b_u = \frac{2 \cdot Z_0}{Z_0 + Z_1} = \frac{2 \cdot 25}{25 + 50} = \frac{2}{3}$$

- b. Menggambar bentuk gelombang berjalan (semua resistansi gelombang : $Z=50\Omega$), kemudian menghitung tegangan lebih di ujung saluran transmisi.



Gambar 4.6 Grafik perambatan gelombang refleksi pada hantaran transmisi dengan beban resistansi ($R=Z_0$)

- c. Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari pengukuran *oscilloscope*

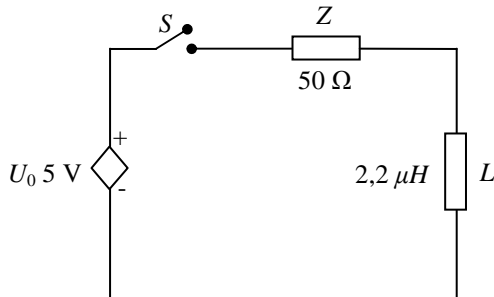


Gambar 4.7 Karakteristik signal R parallel saat pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope*

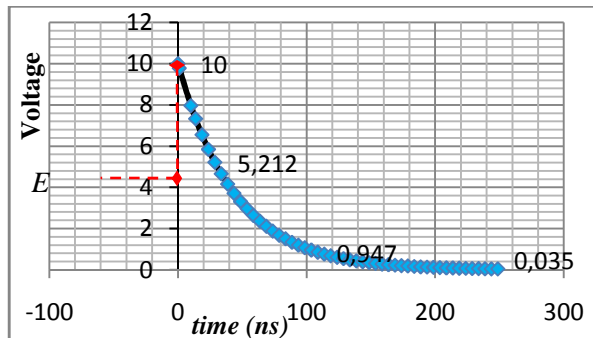
4.5 Refleksi Pada Hantaran Transmisi Dengan Pemutusan Induktansi (L)

Langkah pengukuran gelombang berjalan untuk induktansi adalah sebagai berikut :

Menghitung konstanta waktu τ dari pengukuran dan menghitung tegangan induktansi dengan formulasi : $u(t) = 2U_0 \cdot e^{-(t/\tau)}$

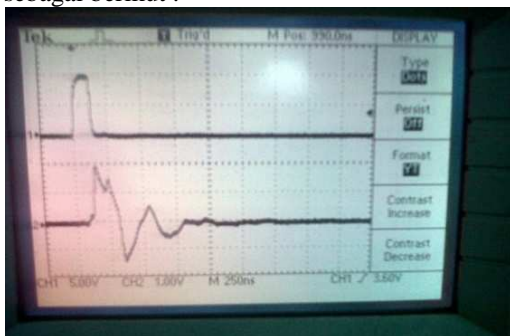


Gambar 4.8 Diagram rangkaian ekivalen dari pengaturan rangkaian pada terminasi Induktif



Gambar 4.9 Grafik perambatan gelombang akibat terminasi induktif

1. Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope* sebagai berikut :

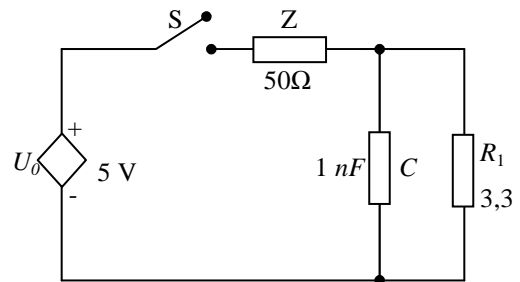


Gambar 4.10 Karakteristik signal L saat pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope*

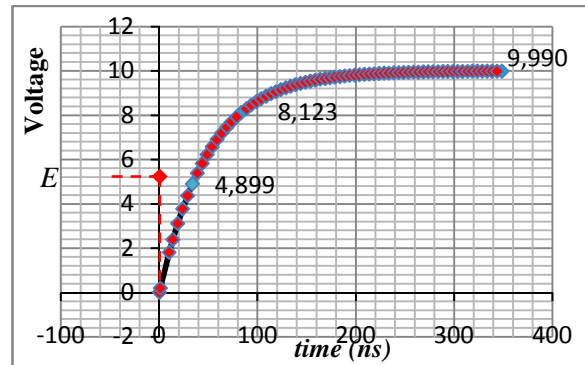
4.6 Refleksi Pada Hantaran Transmisi Dengan Terminasi Kapasitansi C

Langkah pengukuran gelombang berjalan untuk kapasitansi mengikuti tahapan berikut

Menghitung konstanta waktu τ dari pengukuran dan menghitung tegangan kapasitansi dengan formulasi unit step $u(t) = 2U_0 \cdot (1 - \exp^{-(t/\tau)})$

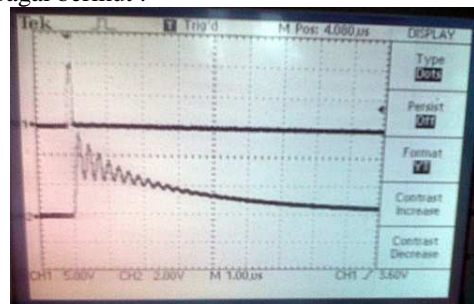


Gambar 4.11 Diagram ekivalen dari pengaturan rangkaian pada terminasi dengan kapasitif



Gambar 4.12 Grafik perambatan gelombang akibat terminasi kapasitif

1. Mengetahui bentuk gelombang tegangan dari hasil pengukuran dengan menggunakan *oscilloscope* sebagai berikut :



Gambar 4.13 Karakteristik signal C saat pengukuran dengan menggunakan *Oscilloscope*

4.7 Analisis Hasil

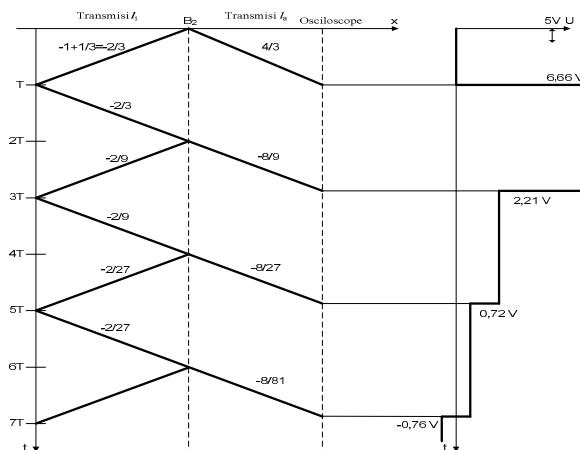
4.7.1 Pengaruh Beban Resistif R

Dari hasil eksperimen pada terminasi beban resistansi (R), jika R sama dengan imedansi surja Z ($R=Z$) transmisi, maka tegangan pantul pada beban R mempunyai magnitudo gelombang maksimum sebesar gelombang tegangan yang datang.

Jika beban resistansi R di ujung saluran transmisi lebih besar dari impedansi surja transmisi Z, maka akan timbul gelombang pantul dan akibatnya tegangan lebih di ujung saluran transmisi menjadi : ($R>Z$) $R=100\Omega$, $Z=50\Omega$

Koefisien Refleksi:
$$r_u = \frac{R - Z}{R + Z} = \frac{100 - 50}{100 + 50} = \frac{1}{3}$$

Koefisien Transmisi:
$$b_u = \frac{2 \cdot R}{R + Z} = \frac{2 \cdot 100}{100 + 50} = \frac{4}{3}$$



Gambar 4.14 Grafik refleksi perambatan gelombang tegangan pada hantaran transmisi dengan beban Resistansi ($R > Z_0$)

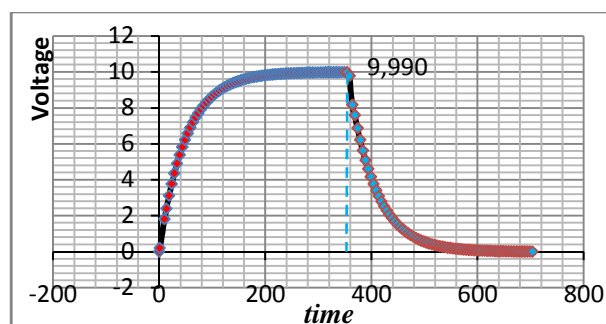
4.7.2 Pengaruh Beban Induktif L

Dari hasil eksperimen yang dilakukan pada terminasi beban induktif L , bahwa tegangan yang melewati indikator awalnya naik dua kali lipat nilainya dari gelombang datang dan perlahan-lahan menurun secara eksponensial yang juga dipengaruhi oleh laju penurunan gelombang tegangan akibat dari besar atau kecilnya konstanta waktu τ .

Dari hasil keluaran *signal* gelombang tegangan pada terminasi induktansi L dari *oscilloscope*, pada saat gelombang naik dua kali lipat gelombang datang dan akan turun secara eksponensial terjadi *noise* yang diakibatkan peluahan (*discharge*) yang terjadi berulang-ulang di jaringan akibat adanya pengaruh kapasitansi yang besar di *switch*.

4.7.3 Pengaruh Beban Kapasitif C

Dari hasil eksperimen yang dilakukan pada terminasi beban kapasitif C yang diparalelkan dengan R , bahwa mula-mula tegangan diserap (*charge*) oleh kapasitor dan kemudian gelombang tegangan naik perlahan-lahan secara eksponensial hingga mencapai harga gelombang datang yang dipengaruhi laju kenaikan tegangan atau konstanta waktu, karena jika konstanta waktu semakin besar maka gelombang eksponensial akan vepat naik dan jika konstanta waktu kecil maka gelombang eksponensial akan naik perlahan hingga mencapai harga gelombang datang.



Gambar 4.15 Grafik muatan dan peluahan tegangan akibat terminasi dengan beban kapasitif

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen dan analisa gelombang berjalan akibat tegangan lebih transien impuls persegi di ujung saluran transmisi dengan karakteristik beban R, L, C menunjukkan bahwa:

1. Untuk beban bersifat induktif dan kapasitif, tegangan pada ujung saluran transmisi dapat mencapai dua kali besar tegangan gelombang datang.
2. Besar L dan C hanya berpengaruh kepada waktu kenaikan gelombang.
3. Untuk beban bersifat resistif, besar R berpengaruh terhadap tegangan pada ujung saluran.
4. Jika beban R lebih besar daripada impedansi surja ($R > Z$) maka tegangan lebih pada ujung saluran lebih besar dari besar tegangan gelombang datang.
5. Jika beban resistif lebih kecil atau sama dengan impedansi surja ($R \leq Z$) tegangan pada ujung saluran tidak akan lebih besar dari tegangan gelombang datang.

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan karakteristik gelombang berjalan yang lebih baik, dalam penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan menambah beban secara bervariasi di ujung saluran transmisi untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari karakteristik pantulan gelombang yang diakibatkan variasi beban yang berada di ujung saluran transmisi terhadap besar tegangan lebih yang lebih diredam bagi sistem koordinasi isolasi yaitu dengan tidak melebihi tegangan gelombang datang atau tidak melebihi *basic impulse level*.
2. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih akurat perlu dilakukan lebih lanjut dengan menghilangkan asumsi-asumsi pada penelitian ini. Juga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan langkah-langkah guna meredam tegangan lebih transien

6. Daftar Pustaka

- Arismunandar. 1990, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abduh, S. 2001, *Teknik Tegangan Tinggi*, Salemba Teknik, Jakarta.
- Greenwood. A. 1991, *Electrical Transients In Power Systems*, John Wiley & Sons, Singapore.
- Hery Purnomo dan Mahfudz Shidiq. Desember 2010. *Analisa Perambatan Gelombang Surja Berjalan Pada Belitan Trafo Distribusi*. Jurnal EECCIS. Vol. 4 (II).

- Hutauruk. T.S. 1991, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Erlangga, Jakarta.
- Kind, D. 1993, *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB.
- LV, Bewley. 1951, *Traveling Waves on Transmission Systems*, 2nd. Ed., John Wiley & Sons, New York
- Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler. *Power Engineering Practical Course II Experiment 11*. Rheinisch Westfalische Technische Hochschule Aachen: Institut Fur Hochspannungstechnik.
- Stevenson. W.D. 1994, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Yanuar Z. Arif, Prouli M. Pakpahan, dan Syarif Hidayat. 1998, *Analisis Transien Akibat Surja Petir Pada Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi Dengan Menggunakan "Electromagnetic Transients Program"*. Jurnal Penelitian dan Evaluasi Proceedings Teknik tegangan tinggi. ITB. Vol. 1 (I). Hlm. A3-7